

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Sciences-Département de Chimie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en :

Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Chimie

Option : Chimie analytique

Présenté par :

BELKHAIRI Amel

AOUGACI Rachida

THEME

**Caractérisation des bourbiers de forage traités par le
procédé Stabilisation/Solidification**

Soutenu le 04/11/2020 devant le jury composé de :

Mr D.KHEFFACHE	Maitre de Conférences A UMBB	Président
Mme N.GHEMMIT	Maitre de Conférences A UMBB	Examinatrice
Mme S.CHIKHI	Maitre de Conférences B UMBB	Promotrice

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

En premier lieu, nous remercions le bon Dieu, tout puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que la volonté pour dépasser toutes les difficultés.

*Nos remerciements vont en particulier à **Madame S. CHIKHI**, Maitre de Conférences B à l'université de Boumerdès, notre Promotrice, qui nous a dirigé, conseillé et beaucoup aidé afin de bien mener ce travail.*

*Nos remerciements s'adresse également à **Monsieur M. DAHDOUH**, Ingénieur d'Etat, notre Co-promoteur au niveau du CRD, ses conseils nous ont aidés à surmonter beaucoup de difficultés.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à **Monsieur D. KHEFFACHE**, Maitre de Conférences A à l'université de Boumerdès, qui nous fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Nous tenons à lui exprimer notre profonde et respectueuse gratitude. On est très honorés de la participation à ce jury de **Madame N. GHEMMIT**, Maitre de Conférences A à l'université de Boumerdès, on la remercie vivement d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Ma mère honorable, aimable, **Hamida**, Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

*Mon père **Mohamed**, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*

*Mes sœurs, **Rachida** et **Nour el imane** et mon Frère, **Rachid** qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*Le fils de ma sœur, mon prince **Mohamed Iyas**.*

*Mon très cher cousin, que j'aime beaucoup **TAIBI Tarek** pour toute l'affection qu'il me donnait et pour ses précieux encouragements.*

*Mon binôme **Rachida***

Pour les personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé.

Avec mes meilleurs vœux de bonheur de santé et de prospérité

Amel

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*La mémoire de mon père **Rachid**, mon plus fort repère, un être unique et magnifique, mon meilleur.*

*Ma très chère mère **Aldjia**, à qui je dois tout ce que j'ai été et tout ce que je suis devenue, merci du fond du cœur, pour son dévouement, sa disponibilité, et son action tout au long de mes études.*

*Ma sœur **Nourhane**, pour leur soutien continu*

*Mes frères **Mohamed** et **Ali***

*Toute la famille **AOUGACI** et **KHOUDI***

*Mon binôme **Amel***

Mes amis et à toutes personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

Toute personne qui mérite l'appréciation et le respect de ma part Merci à vous.

Tout veuillez accepter cette dédicace de ma part.

Rachida



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma représentant le principe d'un appareil de forage.....	4
Figure 2 : Bourbiers avant l'opération de forage	8
Figure 3 : Bourbiers après l'opération de forage.....	8
Figure 4 : Schéma représentant les impacts des bourbiers sur l'environnement.....	9
Figure 5 : Traitement biologique du bourbier.....	12
Figure 6 : Présentation du mode de traitement thermique.....	13
Figure 7 : Phénomène d'encapsulation.....	14
Figure 8 : Schéma fonctionnel d'une unité de Stabilisation/Solidification.....	15
Figure 9 : Agitateur rotatif.....	17
Figure 10 : pH-mètre.....	18
Figure 11 : Appareil de la Spectroscopie d'Absorption Atomique (SAA).....	19
Figure 12 : Appareil Spectrométrie de Masse associée à un Plasma d'argon à Couplage Inductif (ICP-MS).....	20
Figure 13 : Appareil de la Spectroscopie d'Absorption Atomique sans Flamme (SAA sans Flamme)....	20
Figure 14 : Dispositif de mesure du COT.....	22
Figure 15 : Spectrophotomètre (type DR1900).....	22
Figure 16 : Dispositif de mesure de la DBO ₅	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principaux additifs utilisés dans les fluides de forage.....	6
Mémoire I	
Tableau 2 : Résultats des paramètres indicateurs de pollution avant traitement.....	25
Tableau 3 : Résultats du test des métaux lourds des déblais.....	26
Tableau 4 : Résultats des paramètres indicateurs de pollution après traitement.....	26
Tableau 5 : Résultats des métaux lourds après traitement.....	27
Mémoire II	
Tableau 6 : Valeurs du pH mesurées avant et après traitement.....	29
Tableau 7 : Résultats du test des métaux lourds des échantillons de lixiviats des deux bourbiers.....	30
Tableau 8 : Concentrations du mercure total dans les deux bourbiers.....	31
Tableau 9 : Concentrations du Carbone Organique Total des échantillons de lixiviat.....	32
Tableau 10 : Valeurs de la DCO et de la DBO ₅ des bourbiers WO et CP.....	33
Mémoire III	
Tableau 11 : Valeurs du pH mesurés pour les échantillons considérés.....	34
Tableau 12 : Valeurs du mercure total pour les échantillons considérés.....	35
Tableau 13 : Teneurs en métaux lourds dans les échantillons considérés.....	36
Tableau 14 : Teneur en Carbone Organique Total.....	37
Tableau 15 : Concentrations de la DCO des échantillons considérés.....	38
Tableau 16 : Concentrations de la DBO ₅ des échantillons considérés.....	38

LISTE DES ABREVIATIONS

Termes	Significations
SAA	Spectrométrie d'Absorption Atomique
ICP-MS	Spectrométrie de Masse associée à un Plasma d'argon à Couplage Inductif
TCLP	Procédure de lixiviation caractéristique de la toxicité
ppm	Partie par million
ppb	Partie par billion
coll	Collaborateurs

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.A. Forage.....	3
I.B. Les fluides de forage.....	5
I.B.1. Définition.....	5
I.B.2. Caractéristiques physiques et chimiques.....	5
I.B.3. Rôle des fluides de forage.....	5
I.B.4. Composition des différents types de fluides de forage.....	6
I.B.5. Types de fluide de forage.....	6
I.C. Les bourbiers.....	8
I.C.1. Définition.....	8
I.C.2. Influence des bourbiers sur l'environnement.....	9
I.C.3. Toxicité des bourbiers.....	10
I.C.4. Quelques métaux lourds et leurs toxicités.....	10
I.C.5. Stratégies d'Etat Algérien dans le domaine environnemental.....	11
I.C.6. Principes de traitement des bourbiers pétroliers.....	12
I.C.6.a. Traitement biologique.....	12
I.C.6.b. Traitement par le procédé de Désorption Thermique.....	12
I.C.6.c. Traitement par le procédé Stabilisation/Solidification.....	13
I.C.7. Les différentes étapes du processus Stabilisation/Solidification.....	14
I.C.8. Avantages et inconvénients du procédé Stabilisation/Solidification.....	15
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES UTILISES POUR LA CARACTERISATION DES BOURBIERS DE FORAGE	
II.A. Analyses préliminaires.....	16

II.B. Échantillonnages.....	16
II.B.1. Test de lixiviation.....	16
II.B.2. Analyses de le lixiviat (efficacité du traitement).....	17
II.B.2.a. Mesure du pH par la méthode électro-métrique	18
II.B.2.b. Dosage des métaux lourds par Absorption Atomique à Flamme (SAAF).....	18
II.B.2.c. Dosage des métaux lourds par Spectrométrie de Masse associée à un Plasma d'argon à Couplage Inductif (ICP-MS).....	19
II.B.2.d. Dosage du mercure total.....	20
II.B.2.e. Dosage du Carbone Organique Totale (COT).....	21
II.B.2.f. Dosage des indicateurs de pollution organique.....	22
II.B.2.f.1. Détermination de Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	22
II.B.2.f.2. Evaluation de la Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours (DBO ₅).....	23
II.B.2.f.3. Dosage des nitrates.....	23
II.B.2.f.4. Dosage des nitrites.....	24
II.B.2.f.5. Dosage du phosphore.....	24
 CHAPITRE III : PRESENTATION, ANALYSE ET COMPARAISON DES RESULTATS ANTERIEURS	
Mémoire I.....	25
Mémoire II.....	28
Mémoire III.....	34
CONCLUSION GENERALE.....	41
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	42
ANNEXE	

INTRODUCTION
GENERALE

La plupart des sources d'énergie nécessaires au fonctionnement de nos sociétés sont fournies par le pétrole. Mais leur extraction génère également une série de coûts sociaux et environnementaux présents et futurs, directs et indirects, qui doivent être comparés aux bénéfices qu'ils génèrent[1].

L'utilisation intensive et abusive des ressources fossiles et les rejets des déchets dans l'environnement qu'elles impliquent contribue à détériorer le milieu naturel. Ce changement a un impact sur la société, la santé humaine, l'économie, les espèces vivantes, la production alimentaire et l'écologie[2].

Chaque jour la pollution de notre environnement augmente, la santé humaine est de plus en plus mise en danger, engendrant ainsi des risques à moyen et long terme. L'Algérie n'est pas à l'abri de ces phénomènes en raison des opérations de forage et d'exploitation des unités de production et de raffinage qui génèrent une quantité importante de rejets industriels solides et liquides. Ces rejets sont stockés dans des endroits appelés bourbiers et renferment des produits toxiques tels que des métaux lourds et des polluants organiques. Ces derniers provoquent des problèmes qui menacent l'homme, la faune et la flore[2].

Les lois de l'environnement exigent des traitements adéquats de ces déchets industriels afin d'éviter une éventuelle dégradation. Les conditions actuelles de traitement de ces rejets reposent essentiellement sur leur Stabilisation/Solidification. Cependant, une question subsiste :

Est-ce que ce traitement réduit réellement et efficacement les polluants organiques et minéraux ?

Pour répondre à cette question, nous avons envisagé de tester l'efficacité du traitement par le procédé Stabilisation/Solidification, sur des échantillons prélevés à partir des bourbiers pollués par des rejets de forage pour diminuer la toxicité des contaminants, et bloquer définitivement les polluants actifs, pour obtenir des bourbiers sous une forme stable, moins mobile et plus sécuritaire pour l'environnement.

Le manuscrit est organisé comme suit:

Chapitre I : Il résume une étude bibliographique dans laquelle nous décrivons les bourbiers de forage du point de vue composition chimique qui reste liée à celle des fluides utilisés lors des forages. Une présentation sommaire des additifs utilisés dans les fluides de forage sera donnée. Nous parlerons aussi des effets néfastes engendrés par ces déchets de forage vis-à-vis de l'environnement. Nous terminerons cette première partie par une présentation des méthodes de traitements utilisées dans ce domaine.

Chapitre II : Il présente les différentes techniques d'analyse utilisées pour la caractérisation des bourbiers de forage.

Chapitre III : Il est consacré à la présentation, l'analyse et la comparaison des résultats antérieurs de trois mémoires, réalisés au niveau du laboratoire de Centre de Recherche et Développement (CRD) de Sonatrach Boumerdes, travaillant dans le même axe de recherche que le notre.

Et finalement, ce mémoire s'achève par une conclusion générale.

CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.A. Forage

Les forages pétroliers sont le premier pas qui nous permet d'avoir des gisements exploitables et les différentes phases de réalisation de ces projets, ainsi les boues de forage constituent le sang du processus en question.

I.A.1. Historique

En aout 1859, le colonel DARKE fora son premier puits de pétrole à vingt trois mètres de profondeur près de Titusville en Pennsylvanie (USA), il employa le système de forage par battage au câble qui utilise, pour attaquer le terrain, l'impact d'un lourd trépan suspendu au bout d'un câble qui lui transmet, depuis la surface, un mouvement alternatif créé par un balancier, Lorsque les foreurs avaient affaire à d'autres régions où ils découvrirent des terrains plus difficiles[3].

I.A.2. Définition

On appelle "forage pétrolier" l'ensemble des opérations permettant d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux, L'implantation d'un forage pétrolier est décidée à la suite des études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire. Ceci nous permet de nous faire une idée de la constitution de sous-sol et des possibilités de gisements, sans pour autant préciser la présence d'hydrocarbures. L'opération de forage peut alors confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches[3].

I.A.3. Principe

Avant de forer un puits, on doit effectuer plusieurs études et suggérer de nombreuses hypothèses concernant le terrain à forer, la cible à atteindre, la stratigraphie à connaître et le profil de forage à adopter. On distingue deux principales phases dans un forage[4].

I.A.3.a. Phase d'exploration

Les géophysiciens et les géologues font des études pour découvrir la caractéristique chimique et géologique des terrains à forer. Les géophysiciens émettent l'hypothèse de l'existence ou non d'une roche réservoir, c'est la strate débitante du fluide recherché. C'est pour cette raison que l'on cherche à connaître la stratigraphie du sol considéré. Par la suite les ingénieurs de génie civil se chargent de la construction du camp de vie et de la plate forme en béton qui va soutenir les installations de forage tel que le Derrick (tour de forage), le treuil, la table de rotation...[4].

I.A.3.b. Phase d'exploitation

Généralement, les puits d'exploration deviennent par la suite des puits d'exploitation. Pour estimer la taille de la couche réservoir, on fore les puits délimitation pour assurer une bonne exploitation. Il faut savoir que la réalisation d'un puits pétrolier peut aller de quelques semaines à une année selon la profondeur et les difficultés de forage régional[4].

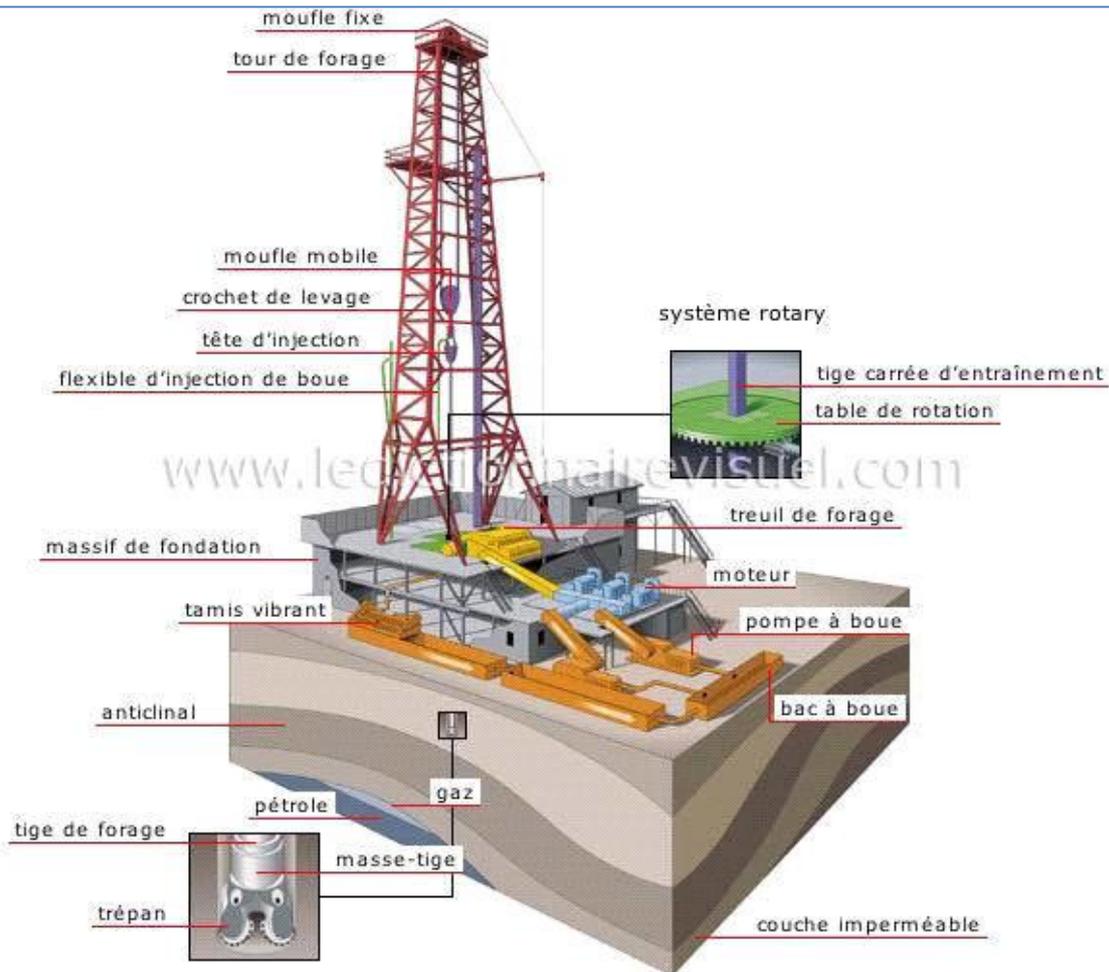


Figure 1 : Schéma représentant le principe d'un appareil de forage.

I.B. Les fluides de forage

I.B.1. Définition

Un fluide de forage, appelé aussi boue de forage est un mélange de matières, constitué d'une phase liquide (eau, huile) ou gazeuse (air), en plus de divers additifs chimiques (liquides, suspensions) dont les proportions sont ajustées selon la géologie du sous-sol, et qui peuvent varier selon les performances de l'opération de forage. Utilisé dans les opérations de forages pétroliers ou gaziers, un fluide de forage doit répondre à plusieurs fonctions tel qu'il assure le bon déroulement du forage[5].

I.B.2. Caractéristiques physico-chimiques[6]

I.B.2.a. Caractéristiques physiques

- Densité et masse volumique
- Rhéologie
- Filtration et cake
- Concentration en sable
- Emulsion

I.B.2.b. Caractéristique chimique

C'est une propriété chimique de la boue qui est souvent liée à sa stabilité et également à son aptitude à disperser facilement les matériaux argileux dont elle se charge au cours du forage.

La détermination du pH fournit la concentration en ion H^+ ou OH^- libre. Les boues de forage sont généralement basiques, leur pH peut varier suivant les cas de 8 à 12.

I.B.3. Rôle des fluides de forage

Les fluides de forage jouent différents rôles dans le déroulement de forage[3] :

- Nettoyage du puits.
- Maintenir des déblais en suspension.
- Sédimentation des déblais fins en surface.
- Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits.
- Dépôt d'un cake imperméable.
- Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile.
- Entraînement de l'outil.
- Apport de renseignements sur le sondage.

- Augmentation de la vitesse d'avancement.
- Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde.
- Contamination des formations productrices.
- Toxicité et sécurité.
- Diminution du poids apparent du matériel de sondage.

I.B.4. Composition des différents types de fluides de forage :

En plus de l'eau et du gasoil utilisé comme phase continue ou émulsionnée, un très grand nombre de produits entrent dans la fabrication et de traitement des fluides de forage dont certains ont un rôle spécifique et d'autres ont des actions multiples[7].

Tableau 1 : Principaux additifs utilisés dans les fluides de forage[8].

1	Contrôleur d'alcalinité	11	Lubrifiant
2	Bactéricides	12	Décoiçant
3	Anti-calcium	13	Inhibiteur de gonflement des argiles
4	Inhibiteur de corrosion	14	Produits facilitant la séparation
5	Anti-mousse	15	Stabilisateur haute température
6	Emulsifiant	16	Défloculant
7	Réducteur de filtrat	17	Viscosifiant
8	Agent moussant	18	Alourdissant
9	Floculant	19	Fluide de base aqueux (saumure)
10	Colmatant	20	Fluide de base oléagineux

I.B.5. Types de fluide de forage

I.B.5.a. Les fluides à base d'eau

C'est un mélange spécial d'argile, d'eau et d'additifs chimiques injectés à l'intérieur du puits de forage à travers la tige de forage et le trépan pour refroidir le trépan rotatif rapide, lubrifier la tige de forage qui tourne dans le puits et dégager les déblais de roches vers la surface[9].

I.B.5.b. Les fluides à base d'huile

La phase de ces fluides est une huile minérale (pétrole brut, gaz oil, etc.) et la phase dispersée (discontinue) est de l'eau, dont la proportion peut atteindre 50% ou plus en volume[10]. Tout en gardant l'avantage d'une phase externe contenant plus de 50% d'eau sont appelés boue de forage à émulsion inverse et au-dessous on a des boues a huile.

I.B.5.c. Les fluides de forage gazeux

Ce sont des fluides dont la phase continue est du gaz mélangé avec de l'eau en proportions variables provenant de la formation traversée (inévitablement) ou ajoutée avec prudence. Le gaz peut être de l'air ou du gaz naturel, et peut appartenir à une mousse ou à un brouillard. Dans les fluides gazeux utilisés, on trouve: forage à l'air, forage à la boue aéré, forage à la mousse[11].

I.C. Les bourbiers

I.C.1. Définition

Le dictionnaire français Larousse, définit un bourbier comme une dépression du sol remplie d'une boue épaisse.

Dans le domaine de l'exploitation pétrolière, une panoplie des produits chimiques est employée dans la formulation des boues de forage. Ces composés de natures différentes et dont la toxicité et la biodégradabilité sont des paramètres mal définis, sont cependant déversés dans la nature. En plus des hydrocarbures, tels que le gazole constituant majeur des boues à base d'huile, on note les déversements accidentels du pétrole, ainsi que d'une variété d'autres produits et additifs spéciaux (tensioactifs, polymères, ..) qui peuvent exister sur les sites de forage. Ces rejets sont généralement stockés dans des endroits appelés "bourbiers"[12].



Figure 2 : Bourbiers avant l'opération de forage.



Figure 3 : Bourbiers après l'opération de forage.

I.C.2. Influence des bourbiers sur l'environnement

Les bourbiers sont principalement contaminés par des hydrocarbures (gasoil ou pétrole, provenant de la boue à base d'huile) et des métaux lourds (provenant principalement des additifs de la boue). Les bourbiers risquent de contaminer le sol et le sous-sol par les actions suivantes[13].

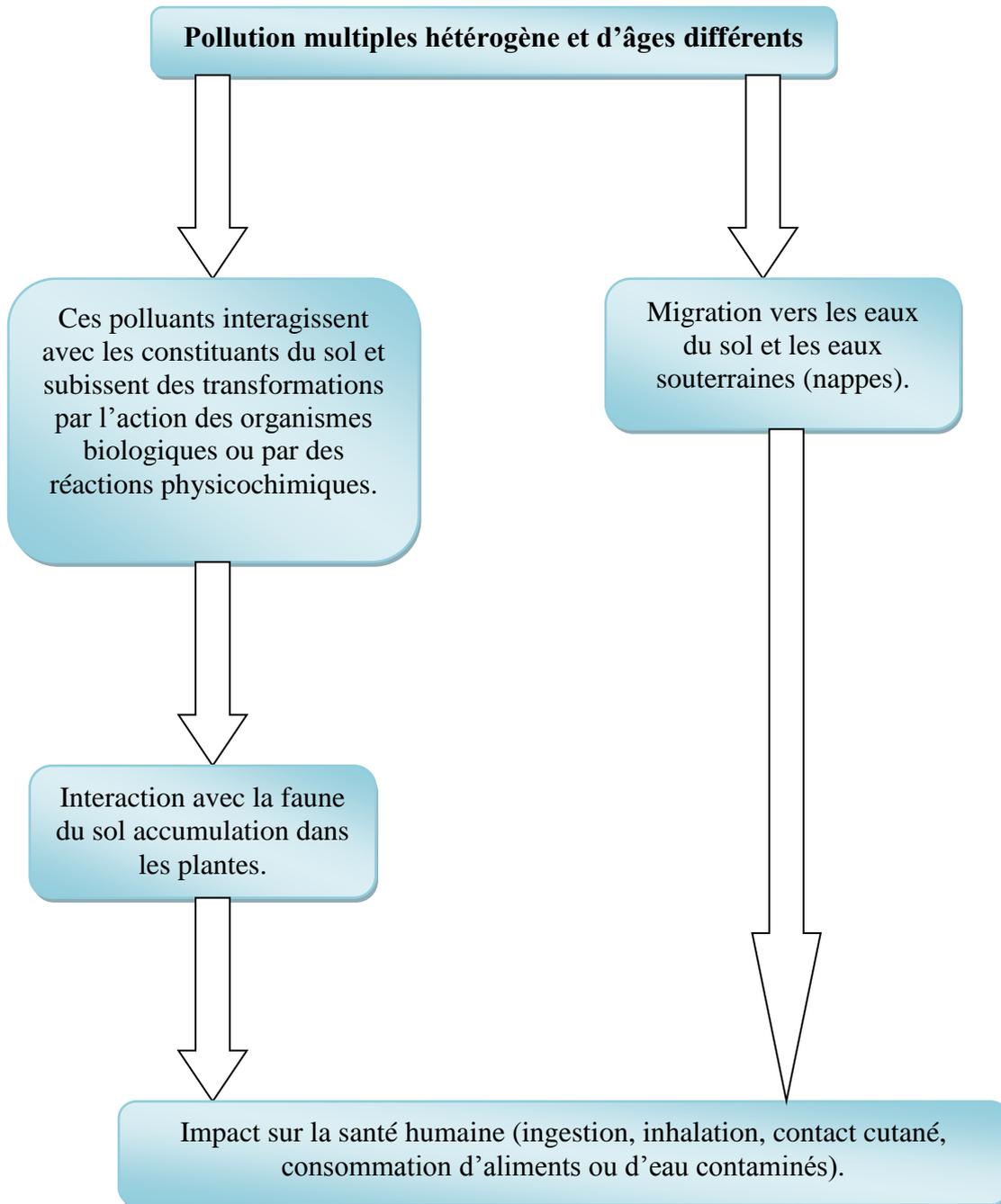


Figure 4 : Schéma représentant les impacts des bourbiers sur l'environnement.

I.C.3. Toxicité des Bourbiers

a. Les Métaux

Certains contaminants tels que les métaux, sont susceptibles d'être toxiques de façon immédiate envers un être vivant. En raison de leurs propriétés chimiques (solubilité, état d'oxydation) les métaux se présentent sous différentes formes : ions, complexes et liés à divers ligands. Leur spéciation influe directement sur leurs toxicités et leurs biodisponibilités[11].

b. Les hydrocarbures et les huiles

La stabilité des hydrocarbures aliphatiques est assez élevée, et leur dégradation dans l'environnement sous l'effet de la lumière ou des bactéries étant très lentes. Dans le cas des hydrocarbures plus légers que l'eau, la quantité déversée doit être suffisante pour qu'il ait constitution d'une phase continue. Si non, la pollution se manifesterait sous forme de gouttelettes d'huile piégées dans les pores constituant autant de micro-sources de pollution, par relâchement dans la phase d'eau de composants solubles. S'il y a constitution d'une phase 'huile' non miscible et continue, celle-ci va migrer vers la nappe sous l'influence de la gravité et des forces capillaires, ces dernières induisent de plus un étalement latéral.

La phase 'huile' en déplacement peut être enveloppée d'une phase gazeuse formée par la vaporisation des composants les plus volatils. Si la nappe est atteinte, les composants solubles passeront dans la phase d'eau et seront entraînés par convection et dispersion. La quantité de polluant restant à l'état de phases distinctes continuera de se déplacer lentement sous l'effet de ses propres gradients de pression en exerçant sur la nappe une action qui en déprima légèrement la surface[14].

I.C.4. Quelques métaux lourds et leurs toxicités

Les métaux lourds s'accumulent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques, provoquant des effets toxiques à court et/ou à long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques et respiratoires. Ils peuvent causer des problèmes sérieux comme un retard de croissance et de développement, des perturbations des systèmes bio régulateurs responsables de troubles étiquetés fonctionnels ou psychosomatiques (syndrome fatigue chronique, fibromyalgie) des problèmes neurodégénératifs (Parkinson, Alzheimer) et finalement des lésions organiques et des cancers[14].

- **Chrome**

Les déchets contenant du chrome sont considérés comme problématiques en raison de leur comportement dans les couches profondes du sol lorsqu'ils sont stockés dans des décharges. En milieu alcalin, on estime

que la stabilité des chromates peut atteindre 50 ans, et qu'ils peuvent migrer vers les nappes aquifères, même à travers de sols cohérents. La combustion de boues contenant des composés chromiques doit être évitée en raison du risque de formation de chromates.

- **Cuivre**

Le cuivre est un élément naturel. Il est présent tout aussi bien dans la croûte terrestre que dans les océans, les lacs ou les rivières, sous forme de traces ou de minerais plus ou moins riches. Loin de représenter un quelconque danger, il est essentiel à toute forme de vie : les plantes, les poissons, les animaux et les êtres humains.

- **Cadmium**

Le cadmium est généralement présent dans l'environnement à de faibles concentrations, cependant, les activités humaines font que ces concentrations augmentent.

Les tests de toxicité ont été réalisés sur les poissons et ont prouvé que le cadmium est toxique à des concentrations allant de 0,01 à 1 mg/L et que cette toxicité augmente en présence du cuivre[14].

- **Mercure**

Le mercure est un métal très réactif dans le milieu où il se trouve (température, composition chimique...). Il peut former dans l'organisme des liaisons avec les molécules de la cellule vivante (acides nucléiques, protéines...), ce qui entraîne la modification de leur structure ou l'inhibition de leurs activités biologiques [15].

I.C.5. Stratégies d'Etat Algérien dans le domaine environnemental

En partant du principe que le règlement de l'environnement nécessite des traitements adaptés aux déchets industriels et cela pour éviter une dégradation de quelques écosystèmes naturels. La région du sud Algérien est caractérisée par une industrie pétrolière très forte, ce qui a résulté des déchets industriels avec des éléments désastreux. A partir de l'année 1990, l'Algérie et la société SONATRACH, recherchent une stratégie pour éliminer les rejets pétroliers causés par les bourbiers des forages pétroliers. Pour cela, elle a créé des législations nationales pour la protection de son environnement et consent de grandes dépenses budgétaires pour trouver des solutions envers ces rejets. Mais jusqu'à maintenant, il reste une quantité liquide des rejets qui pénètre dans la nappe phréatique. Par contre, plusieurs pays, comme Qatar, Angola, ont trouvé des solutions définitives pour ces rejets à travers l'application du principe du forage sans bourbiers (0% décharges)[12].

I.C.6. Principes de traitement des bourbiers pétroliers

Pour le traitement des bourbiers pétroliers, nous avons trois méthodes :

- Traitement biologique.
- Traitement par le procédé de Désorption thermique.
- Traitement par le procédé Stabilisation/Solidification.

I.C.6.a. Traitement biologique

Les traitements biologiques permettent la dégradation des substances organiques (huiles) contenues dans les particules solides, par l'intermédiaire de microorganismes spécifiques (bactéries, champignons) qui se développent naturellement et dans des conditions aérobies[16]. Quelques conditions doivent être satisfaites pour favoriser l'action de ces microorganismes et augmenter la cinétique de biodégradation des composés organiques, à savoir : la température, la DBO (demande biologique en oxygène), l'humidité, le pH, les nutriments (phosphore, azote). Des inconvénients limitent l'utilisation de cette technique comme la longue durée du processus et le fait que son résultat est imprévisible[17].



Figure 5 : Traitement biologique du bourbier.

I.C.6.b. Traitement par le procédé de Désorption Thermique

La désorption thermique consiste en l'extraction des polluants adsorbés par les déblais, sous l'action de la chaleur (de 250 à 600°C). Le procédé de la désorption thermique est une méthode permettant d'extraire physiquement les contaminants organiques des boues.

Ces boues contaminées sont placées dans une chambre fermée et chauffée jusqu'à ce que les hydrocarbures se volatilisent. La température et la durée de traitement sont réglées en fonction de la concentration, du niveau d'humidité et de la nature de la boue. Les hydrocarbures et les particules de poussières que renferment les gaz sont d'abord dirigés vers un appareil à oxyder, puis vers un filtre où elles sont retirées. Les boues traitées sont ensuite récupérées pour des divers usages (les boues traitées sont facilement valorisables comme matériel de remblais). Ce procédé ne génère ni odeur, ni déchet. Les avantages de ce procédé résident dans la possibilité de réutiliser des boues traitées et dans la récupération des hydrocarbures présents dans les boues. Tandis que ses inconvénients sont le coût (procédé onéreux) et son champ d'action qui ne couvre pas tous les types d'hydrocarbures[18].

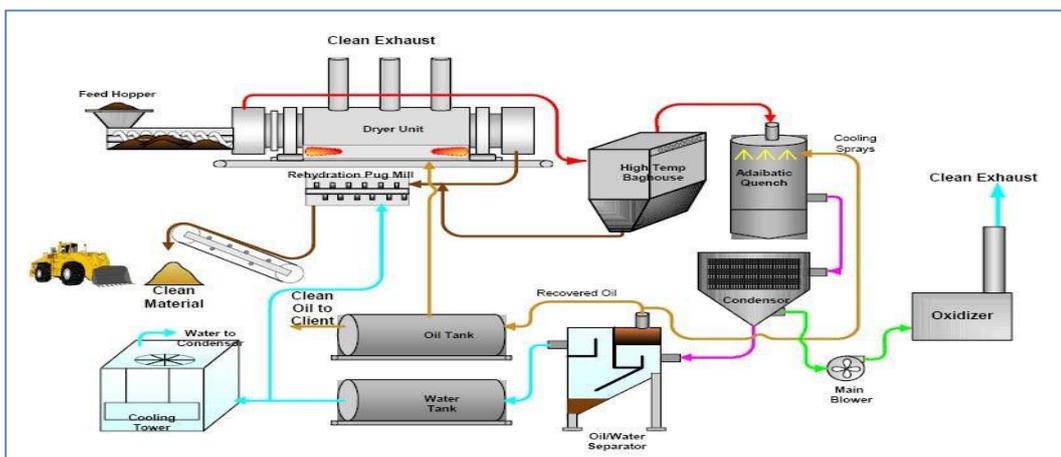


Figure 6 : Présentation du mode de traitement thermique[19].

I.C.6.c. Traitement par le procédé Stabilisation/Solidification

Le procédé Stabilisation/Solidification a pour but d'améliorer la rétention des polluants (hydrocarbures et les métaux lourds contenus dans les déblais) et de confère au matériau obtenu un certain niveau de durabilité structurale.

Cette technique utilise les propriétés physico chimiques des ciments, utilisés comme liants hydrauliques, pour diminuer les risques sur l'environnement dus au relargage des éléments métallique ou radioactifs, etc.... [6].

Ce traitement est basé sur deux approches :

La stabilisation : qui a pour objectif de diminuer chimiquement la mobilité et la toxicité des contaminants, en précipitant par exemple les ions métalliques sous forme d'hydroxydes.

Le produit de ces deux fonctions peut limiter la dispersion de polluants dans le milieu naturel.

L'un des procédés les plus utilisés actuellement consiste à incorporer les déchets ultimes dans une matrice cimentaire (liants hydrauliques) qui réalise en même temps la stabilisation et la solidification[6].

La solidification : qui se réfère à l'encapsulation microscopique ou macroscopique des déchets pour former un matériel solide, sans induire de réactions chimiques entre les contaminants et les additifs[6].

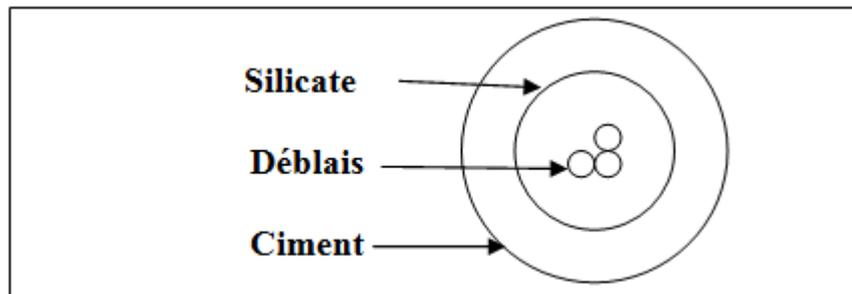


Figure 7 : Phénomène d'encapsulation.

I.C.7. Les différentes étapes du processus Stabilisation/Solidification[13]

Les étapes du processus Stabilisation/Solidification sont:

- La trémie de réception est remplie avec des déblais non traités par le biais d'un retro-chargeur.
- Les déblais sont ensuite amenés vers le malaxeur par l'intermédiaire de deux convoyeurs à vis, au niveau du malaxeur, les additifs chimiques (ciment et silicate de sodium) sont ajoutés suivant les quantités déterminées par le superviseur aux déblais pour les solidifier.
- Le ciment est transporté depuis le silo, dont la capacité est de 45 tonnes, vers le malaxeur par l'intermédiaire d'un convoyeur à vis tubulaire. Le débit du ciment dépend de la typologie des déblais et il se règle à l'aide d'un variateur de vitesse.
- Le silicate de sodium est préparé dans deux citernes. Le débit du silicate de sodium dépend aussi de la typologie des déblais et il se règle par l'intermédiaire d'une vanne.
- Le mélange (déblais +ciment +silicate de sodium) quittant le malaxeur est vidangé directement dans une fosse dont la capacité de 20 m³. Les déblais traités sont acheminés par le biais d'un chargeur vers un bournier pour leur stockage définitif.

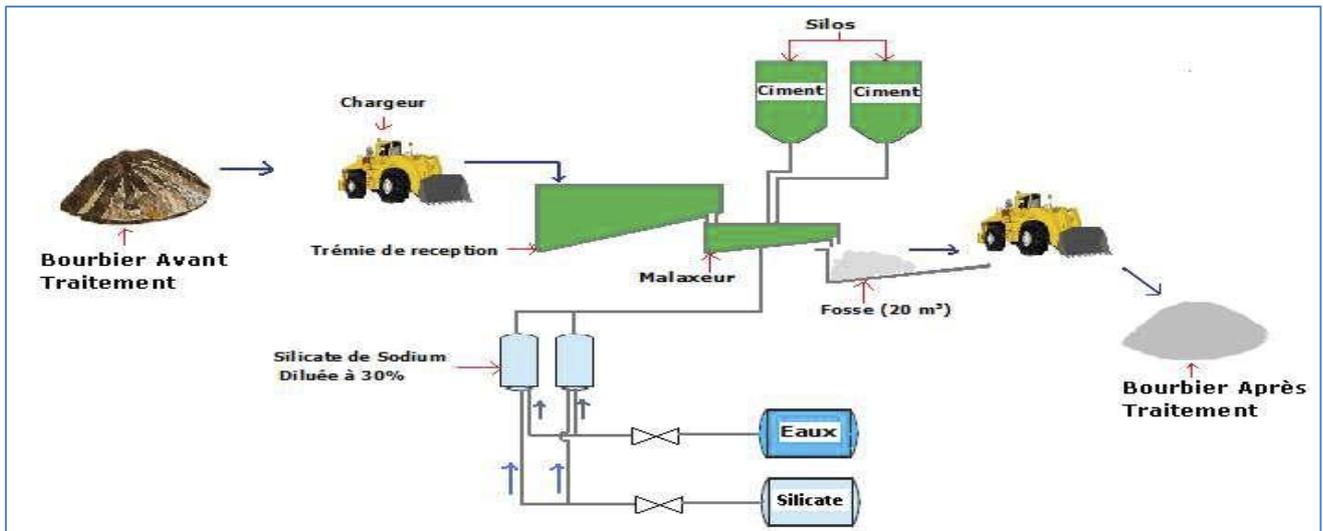


Figure 8 : Schéma fonctionnel d'une unité de Stabilisation/Solidification[13].

I.C.8. Avantages et inconvénients du procédé Stabilisation/Solidification[20]

a. Avantages

- Processus simple et facilement adaptable à la plupart des endroits.
- La stabilisation réduit le potentiel de mobilisation des polluants à l'environnement.
- Bas coût de la main-d'œuvre.
- Stabilisation des métaux lourds.

b. Inconvénients

- Le procédé ne récupère pas les hydrocarbures présents dans les boues.
- Risque de relargage des sels et des hydrocarbures.
- Les systèmes basés sur le ciment ne sont pas applicables à des solides contenant des teneurs élevées en matières organiques.

CHAPITRE II

MATERIELS ET METHODES UTILISES POUR LA CARACTERISATION DES BOURBIERS DE FORAGE

Dans ce chapitre nous aborderons les différentes techniques d'analyse utilisées pour la caractérisation des bourbiers de forage.

La technique Stabilisation/Solidification est la plus largement utilisée de nos jours pour traiter les déchets contaminés contenant des polluants organiques et minéraux, et c'est le procédé qu'on allait utiliser lors de notre stage pratique.

Afin d'évaluer l'efficacité des traitements Stabilisation/Solidification, une série d'analyses est réalisées sur le lixiviat avant et après traitement, à savoir : le dosage des métaux lourds, le dosage du mercure, la détermination du carbone organique total (COT), les indicateurs de pollution (DCO, DBO₅, nitrate, nitrite, phosphore) ainsi que le pH.

II.A. ANALYSES PRELIMINAIRES

Les déblais utilisés ont déjà subi une stabilisation, par incorporation de poudre de ciment en vue d'immobiliser les différents polluants organiques et métalliques susceptibles d'exister.

Les analyses menés ont pour but de vérifier l'efficacité de la stabilisation des déblais en les soumettons à des tests de lixiviation.

II.B. ÉCHANTILLONNAGES

Les échantillons utilisés sont prélevés à partir des bourbiers pollués par des rejets de forage.

II.B.1. Test de lixiviation

La lixiviation ou la percolation d'un matériau peut se produire sur le terrain, par exposition du matériau à l'infiltration naturelle au laboratoire par la mise en œuvre de test TCLP[12].

- **Principe**

Le principe des tests de lixiviation est de déterminer les phénomènes de fixation des contaminants. Le principal agent susceptible de véhiculer les éléments toxiques vers l'environnement est l'eau. Le test TCLP vise à caractériser le comportement du déchet en cours du temps, en mettant en contact le déchet avec solution de lixiviation de volume fixe.

- **Réactifs et appareillage**

- Solution de lixiviation : eau déminéralisée.
- Balance d'une précision d'au moins 0,1g.

- Flacon cylindrique en verre ou en polyéthylène d'un volume minimal de deux litres avec système de bouchage hermétique en matériau inerte.
- Dispositif d'agitation 60 cycles/mn.
- Filtre membrane de diamètre moyen de pore 0.45 μm .
- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression.
- Centrifugeuse.

- **Mode opératoire**

- Déterminer la masse exacte de l'échantillon à 0.1 g près.
- Introduire dans le flacon, un volume v , en litre, d'eau déminéralisée de façon à ce que le rapport du volume d'eau à la masse exacte m_0 , en gramme, de l'échantillon soit de 1L/100g.
- Agiter manuellement le flacon puis le mettre immédiatement en agitation permanente à l'aide d'un dispositif d'agitation.
- La température de mise en contact est de 20 ± 5 °C.
- La durée de mise en contact est de 24 ± 1 h pour une lixiviation unique (voir figure10).
- Le contenu du flacon est soumis à une filtration sous vide sur le filtre membrane.
- Diviser l'éluât en un nombre approprié de sous-échantillons pour les différentes analyses chimiques, et les conserver selon leurs exigences relatives.
- Les concentrations des constituants recherchés sont déterminées en utilisant les méthodes d'analyses correspondantes.



Figure 9 : Agitateur rotatif.

II.B.2. Analyses de lixiviat (Efficacité du traitement)

Afin d'évaluer l'efficacité de traitement, le lixiviat doit subir différents tests.

II.B.2.a. Mesure du pH par la méthode électro-métrique

Le but de test du pH est de déterminer la capacité à neutraliser des solutions acides ou basiques du matériau ainsi que la solubilisation des polluants en fonction du pH.

- **Principe**

Le principe de la méthode électro-métrique est de renseigner et mesurer le niveau d'acidité d'une solution.

La différence de potentiel existant entre une électrode en verre et une électrode de référence (calomel – KCl saturé) plongeant dans une même solution est une fonction linéaire du pH de cette solution. La détermination consiste en la mesure d'une différence de potentiel, elle s'effectue à l'aide d'un dispositif potentiométrique (pH-mètre).



Figure 10 : pH-mètre.

II.B.2.b. Dosage des métaux lourds par Absorption Atomique à Flamme (SAAF)

La Spectroscopie d'Absorption Atomique est une méthode d'analyse physico-chimique quantitative qui englobe une large gamme d'applications en particulier la chimie minérale. Elle permet de doser plus de soixante-dix Éléments métalliques et non métalliques à l'état de trace (ppm) et même d'ultra traces (ppb) [21].

Cette méthode est basée sur la mesure de l'absorbance des atomes à l'état neutre de l'élément, soumis à une lumière de longueur d'onde spécifique de l'élément à doser[22].



Figure 11 : Appareil de la Spectroscopie d'Absorption Atomique (SAA).

- **Principe**

La solution contenant l'élément à doser est aspirée à travers un capillaire et dirigée vers le nébuliseur. Elle est ensuite pulvérisée à très grande vitesse à travers une chambre où s'éliminent les grosses gouttes grâce à une bille brise-jet. La solution ainsi vaporisée est entraînée par le combustible à travers le brûleur à la sortie duquel a lieu la combustion.

Après dissociation thermique dans la flamme, les radiations incidentes, qui sont fournies par une lampe à cathode creuse qui émet le spectre de l'élément que l'on veut doser, sont absorbées. La mesure de cette absorption permet de déterminer la concentration de l'élément à doser.

Avant chaque utilisation de l'appareil, il est indispensable de faire l'étalonnage et de tracer la courbe de calibration de chaque élément à doser.

II.B.2.c. Dosage des métaux lourds par Spectrométrie de Masse associée à un Plasma d'argon à Couplage Inductif (ICP-MS)

La spectrométrie de masse est une technique instrumentale d'analyse reposant sur la séparation, l'identification et la quantification des éléments constitutifs d'un échantillon en fonction de leur masse. Elle est basée sur le couplage d'une torche à plasma générant des ions et d'un spectromètre de masse qui sépare ces ions selon leur masse. Elle permet le dosage de la quasi-totalité des éléments simultanément. L'analyse des échantillons par ICP-MS peut être divisée en quatre étapes : induction- nébulisation, ionisation, séparation en masse, détection.



Figure 12 : Appareil Spectrométrie de Masse associée à un Plasma d'argon à Couplage Inductif (ICP-MS).

La préparation des étalons de différentes concentrations (1ppb, 5ppb, 10ppb...) se fait par dilution d'une solution mère. Cette dernière est préparée à l'aide d'un étalon multi (Cr, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd...) de concentration 1 ppm fournie par agilent.

II.B.2.d. Dosage du mercure total

Le dosage du mercure (Hg) se fait à l'état atomique par absorption atomique sans flamme. C'est une méthode d'analyse spécifique qui permet d'analyser les éléments à l'état fondamental (atomes de Hg) par absorption de la lumière UV à une longueur d'onde = 235,7 nm à température ambiante.

L'appareil utilisé est un spectrophotomètre d'absorption atomique mono-faisceau monocanal où le brûleur est remplacé par une source d'atomisation sans flamme.



Figure 13 : Appareil de la Spectroscopie d'Absorption Atomique sans Flamme (SAA sans Flamme).

- **Principe**

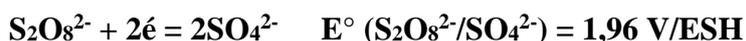
La détermination du mercure s'effectue en deux étapes :

Dans une 1^{ère} étape, l'échantillon est digéré en présence d'un mélange d'acide nitrique et sulfurique, de

permanganate de potassium (KMnO_4) et de persulfate de potassium ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$). Cette étape permet de décomposer la matière organique et amener le mercure sous la forme Hg^{2+} . Le permanganate de potassium se réduit suivant la réaction :



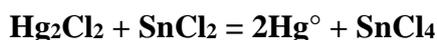
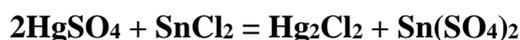
Le persulfate de potassium se réduit suivant la réaction :



Ces deux réactifs assurent une oxydation complète des composés organiques décomposés lors de la décomposition acide.

Après la digestion, une solution de chlorures d'hydroxylamine (H_4CINO) réduit l'oxyde de manganèse et l'excès de KMnO_4 sans réduire le Hg^{2+} .

Dans une seconde étape, les ions mercuriques (Hg^{2+}) sont réduits en mercure élémentaire par une solution de chlorure stanneux (SnCl_2) selon les réactions suivantes :



Le mercure élémentaire est ainsi amené sous forme gazeuse dans une cellule par barbotage d'air. C'est là qu'il est dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme. La concentration de l'échantillon est déterminée par comparaison entre les absorbances respectives de l'échantillon et celles d'une solution étalon.

II.B.2.e. Dosage du Carbone Organique Total (COT)

Le Carbone Organique Total est un paramètre important de pollution. Il nous renseigne sur la quantité de la matière organique que contient un échantillon.

- **Principe**

Les échantillons traversent sans interruption l'analyseur. Le Carbone Inorganique (CI) est éliminé de l'échantillon par adjonction d'acide. Cette opération transforme ce Carbone Inorganique en CO_2 qui est éliminé par dégazage.

Le calcul du COT [3]. S'effectue en soustrayant le CIT du CT. Cette méthode est décrite par l'équation

$$\text{CT} - \text{CIT} = \text{COT}.$$

CIT : Carbone Inorganique Total.

CT : Carbone Total.

Les résultats doivent être exprimés en milligrammes de carbone par litre (mg.L^{-1}).



Figure 14 : Dispositif de mesure du COT[23].

II.B.2.f. Dosage des indicateurs de pollution organique

La teneur en DCO, nitrate, nitrite, phosphore est déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre type DR 1900.

II.B.2.f.1. Détermination de Demande Chimique en Oxygène DCO

La pollution par les matières organiques est provoquée par les rejets industriels. L'importance de cette pollution dans un effluent peut être évaluée par la Demande Chimique en Oxygène (DCO).



Figure 15 : Spectrophotomètre (type DR1900).

- **Principe**

Le test de la DCO consiste en la mesure de l'oxygène équivalent à la quantité de matières organiques oxydables par le bichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$.

Dans une solution d'acide sulfurique à 50%, un composé à base d'argent est ajouté comme catalyseur. Un composé mercurique est ajouté pour réduire les interférences dues à l'oxydation des ions chlorures par

bichromate. L'oxydation s'effectue à une température de 150°C pendant deux heures, la lecture se fait par calorimétrie.



II.B.2.f.2. Evaluation de la Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours (DBO₅)

La Demande Biologique en Oxygène (DBO) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques. Elle est en général calculée au bout de 5 jours à 20°C.



Figure 16 : Dispositif de mesure de la DBO₅.

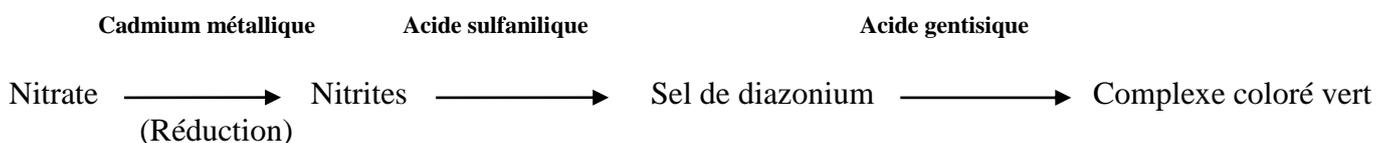
- **Principe**

En fonction de la valeur de la DCO mesurée et de la valeur de DBO suspectée, on introduit une quantité connue de lixiviat dans un flacon de mesure qui est relié au système manométrique. L'oxygène qui est absorbé par les micro-organismes pour dégrader la matière organique est remplacé par l'air au dessus de l'échantillon dans le flacon. Le CO₂ produit est absorbé par la soude. La différence de pression est directement affichée à l'échelle manométrique en mg.L⁻¹ de DBO.

II.B.2.f.3. Dosage des nitrates

- **Principe**

Le dosage des nitrates nécessite une mise en œuvre préliminaire d'une réaction colorée spécifique de l'élément recherché selon la réaction suivante :



Le cadmium métallique contenu dans les gélules de réactifs réduit le nitrate présent dans l'échantillon en nitrites, les nitrites réagissent en milieu acide avec l'acide sulfanilique pour former un sel diazonium (formule chimique). Ce sel réagit avec l'acide gentisique (formule chimique) pour former un complexe coloré ambré, l'intensité de la coloration sera proportionnelle à la concentration en nitrate.

II.B.2.f.4. Dosage des nitrites

- **Principe**

Pour les faibles teneurs, le principe consiste en la réaction des nitrites présents dans l'échantillon avec l'acide sulfanilique, pour former un sel de diazonium (formule chimique) qui réagit avec l'acide chromotropique (formule chimique) pour produire un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnelle aux quantités de nitrites présents.



Pour les fortes concentrations, la méthode utilise le sulfate ferreux en milieu acide pour réduire les nitrites en oxyde nitreux (formule chimique). L'ion ferreux se combine avec l'oxyde nitreux (formule chimique) pour former un complexe brun-verdâtre dont la coloration est proportionnelle aux nitrites présents.



II.B.2.f.5. Dosage du phosphore

- **Principe**

Le phosphore dans les eaux naturelles et usées se trouve uniquement sous forme de phosphates. La seule forme de phosphate ou phosphore susceptible d'être déterminée directement est l'orthophosphate.

L'orthophosphate (formule chimique) réagit avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe phosphomolybdate. L'acide ascorbique réduit le complexe, donnant une coloration intense de bleu de molybdène.



CHAPITRE III

PRESENTATION, ANALYSE ET COMPARAISON DES RESULTATS ANTERIEURS

Vu que notre projet n'est pas arrivé à maturité étant donné que nous n'avons pas effectué de stage pratique, nous avons décidé de maintenir le même sujet en effectuant une étude bibliographique, analyser et comparer des résultats antérieurs réalisés dans le même axe de recherche que le notre.

Nous avons proposé de traiter trois mémoires, qui sont les suivants :

Mémoire 1 : Etude d'efficacité des méthodes de traitement des déblais de forage et leur valorisation par rapport à la réglementation Algérienne, traité par MOULAY et coll [24] (Université M'hamed Bougara-Boumerdès, 2013). Ils ont réalisé ce travail au laboratoire du Centre de Recherche et Développement de Sonatrach.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier le procédé de traitement Stabilisation/Solidification, sur des échantillons prélevés à partir des bourbiers pollués par des rejets de forage au niveau du puits OMKZ 46 du champ de HASSI Messaoud.

Pour ce faire, MOULAY et coll ont mélangé les déblais avec le ciment (100 à 250 g) afin de les stabiliser puis pour rendre le mélange immédiatement inerte (encapsulation), ils ont ajouté un volume de 0,935 mL d'une solution de silicate. Le mélange (déblais+ciment+silicate) est ensuite mis dans des moules puis sécher. Après le séchage, ils ont broyé les déblais solidifiés pour préparer le lixiviat.

Une série d'analyses a été effectuée avant et après traitement.

III.A. Résultats d'analyses des déblais avant traitement par Stabilisation/Solidification

III.A.1. Dosage des paramètres indicateurs de pollution

Les résultats des paramètres indicateurs de pollution avant traitement des déblais sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Résultats des paramètres indicateurs de pollution avant traitement.

Paramètres	Résultats	Normes algérienne
Phosphore	27,5 mg/L	10 mg/L
Nitrites	80 mg/L	/
Nitrates	5 mg/L	/

D'après ces résultats, ils ont constaté que le milieu contient une certaine concentration en électrolytes tels que les nitrites, les nitrates et les dérivés du phosphore, considérés comme indicateurs de la pollution organique.

III.A.2. Dosage des métaux lourds

Le tableau suivant montre les résultats d'analyse des métaux lourds des déblais de forage. La concentration des différents éléments est exprimée en mg/L.

Tableau 3 : Résultats du test des métaux lourds des déblais.

Métaux	Concentration en mg/L	Normes algérienne en mg/L
Pb	1,82	0,5
Cd	0,050	0,2
Cr	0,49	0,5
Zn	3,57	3
Ni	0,37	0,5
Fe	< LQ	3
Cu	0,082	0,5
Hg	13,33	0,01
Mn	3,75	1

LQ : Limite de quantification : valeur minimale détectée par l'appareil.

Ils ont constaté d'après les résultats trouvés qu'il y'a des valeurs qui dépassent les limites maximales ou bien supérieurs à celle requises par la réglementation Algérienne. A partir de là, ils ont constaté que ces déblais de forage peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement.

Ce taux de pollution trop élevé nécessite donc des procédés de traitement des déblais avant le déversement dans le bournier.

III.B. Résultats d'analyses des déblais après traitement par Stabilisation/Solidification

Les analyses de la variation des paramètres indicateurs de pollution et les métaux lourds sont affichées dans les tableaux suivants :

III.B.1. Dosage des paramètres indicateurs de pollution

Tableau 4 : Résultats des paramètres indicateurs de pollution après traitement.

Paramètres	Résultat avant traitement (mg/L)	Résultat après traitement (mg/L)
Phosphore	27,5	2,18
Nitrites	80	13
Nitrates	5	3,1

La diminution du taux de phosphore, nitrate et nitrite après traitement par Stabilisation/Solidification est due à la bonne encapsulation de la totalité des hydrocarbures et matière organique riche en phosphore, nitrate et nitrite.

III.B.2. Dosage des métaux lourds

Tableau 5 : Résultats des métaux lourds après traitement.

	Métaux lourds : Concentration en mg/L								
	Pb	Cd	Cr	Zn	Ni	Fe	Cu	Mn	Hg
Déblais av/tr	1,82	0,05	0,49	3,57	0,37	< LQ	0,082	3,75	13,33
Déblais ap/tr	0,02	0,012	< LQ	1,64	0,33	< LQ	0,037	0,64	0,24
Valeurs limites	0,5	0,2	0,5	3	0,5	3	0,5	1	0,01

D'après les résultats enregistrés, ils ont constaté que les métaux lourds ont été encapsulés dans un film protecteur de silicate et stabilisés dans toute la matrice, ce qui explique les faibles concentrations des métaux lourds après traitement.

Mémoire 2 : Caractérisation chimique des bourbiers de forages traités par procédé Stabilisation/Solidification, MECHENANE et coll[1] (Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2018). Ils ont réalisé ce travail au laboratoire du Centre de Recherche et Développement de Sonatrach.

Leur centre d'intérêt était le champ de Hassi Messaoud et spécialement autour des installations et des puits d'exploitations de Gassi Touil, où une quantité importante de rejets pétroliers (déblais de forage et des boues à base d'eau et d'huile utilisée au cours de forage) sont jetés dans les bourbiers de Work Over (WO) et Centre de Production (CP).

MECHENANE et coll ont retenu 8 échantillons des deux bourbiers CP et WO.

Pour chaque bourbier ils ont sélectionné 4 échantillons dont un échantillon avant traitement et les trois autres ayant subi chacun un traitement différent par trois soumissionnaires différents :

Soumissionnaire 1 : la formulation proposée pour le traitement des deux bourbiers (WO et CP) est un liant hydraulique (ciment : 150 g) + disilicate de sodium (liquide : 37g/L) + silicate de sodium (solide : 15g).

Soumissionnaire 2 : la formulation proposée pour le traitement des deux bourbiers (WO et CP) est un liant hydraulique (ciment : 240g pour WO et 250g pour CP) + silicate de sodium (solution liquide : 18g/L pour WO et 20g/L pour CP) + absorbant tuf (500g).

Soumissionnaire 3 : la formulation proposée pour le traitement des deux bourbiers (WO et CP) est un liant hydraulique (ciment : 170g pour WO et 180g pour CP) + silicate de sodium (solution liquide : 13g/L pour WO et 16g/L pour CP) + adsorbant + oxyde de calcium (chaux : 30g/L) + tuf (300g).

Afin d'étudier l'efficacité du traitement Stabilisation/Solidification, une série d'analyses a été effectuée sur des échantillons de bourbiers avant et après traitement, l'ensemble des résultats est présenté comme suit :

III.C. Evolution du pH des deux bourbiers (WO et CP) avant et après traitement

Le pH est mesuré par la méthode électro-métrique. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Valeurs du pH mesurées avant et après traitement.

Echantillons	S ₀ WO av/tr	S ₀ CP av/tr	S ₁ WO ap/tr	S ₁ CP ap/tr	S ₂ WO ap/tr	S ₂ CP ap/tr	S ₃ WO ap/tr	S ₃ CP ap/tr
Valeur du pH	12,77	8,01	13,11	12,96	12,62	12,65	13,14	13,17
Critère d'acceptation	Entre 4 et 13							

av/tr : Avant traitement. ap/tr : Après traitement, Bourbier de Work Over (WO) / Bourbier du Centre de Production (CP), S₀, S₁, S₂ et S₃ : des échantillons

Les résultats obtenus montrent que le pH des deux bourbiers est alcalin. Avant traitement, le pH du bourbier WO (12,77) est plus élevé que celui du bourbier CP (8,01). Ce pH élevé provient des additifs anticorrosion à caractère basique des boues rejetées et à la soude ajoutée aux fluides de forages.

Pour l'échantillon N° 3 après traitement, ils ont remarqué que la basicité des deux bourbiers augmente jusqu'à ce qu'elle dépasse la valeur limite des rejets solides. Ces valeurs élevées du pH sont dues à l'oxyde de calcium (chaux) utilisé dans ce traitement.

III.D. Analyse par ICP-MS des métaux lourds des échantillons CP et WO

Afin de pouvoir contrôler l'efficacité du traitement effectué sur chacun des bourbiers, ils ont procédé au dosage des métaux lourds présents dans les lixiviats des échantillons issus des bourbiers CP et WO avant et après traitement. Les résultats d'analyse des métaux lourds dans les lixiviats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Résultats du test des métaux lourds des échantillons de lixiviats des deux bourbiers.

Eléments mg. kg⁻¹	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
S ₀ CP av/tr	<0,01	0,1	0,03	16,86	<0,01	<0,01	0,06	0,05
S ₀ WO av/tr	0,01	0,09	0,12	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
S ₁ CP ap/tr	1,12	0,03	0,03	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
S ₁ WO ap/tr	1,74	0,03	0,05	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
S ₂ CP ap/tr	0,45	0,06	0,04	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
S ₂ WO ap/tr	0,93	0,06	0,06	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
S ₃ CP ap/tr	0,94	0,04	0,04	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
S ₃ WO ap/tr	1,89	0,03	0,05	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Valeurs limite de décret français en mg/kg	70	40	100	200	25	7	5	50

Il ressort des résultats du tableau que les valeurs des concentrations des métaux lourds dans les lixiviats des deux bourbiers et pour les trois soumissionnaires, sont inférieures aux valeurs limites acceptables fixées par le décret français sur lequel se base Sonatrach pour évaluer les traitements des bourbiers. Ils ont ainsi conclu que les deux bourbiers ne représentent pas une source de pollution par les métaux lourds.

III.E. Dosage du mercure total avant et après traitement des deux bourbiers

La teneur en mercure total est exprimée en $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Concentrations du mercure total dans les deux bourbiers.

Echantillons	Concentration calculée ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Valeur limite du décret français en ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)
S ₀ WO av/tr	1,0	2000
S ₀ CP av/tr	0,8	2000
S ₁ WO ap/tr	1,0	2000
S ₁ CP ap/tr	1,6	2000
S ₂ WO ap/tr	1,0	2000
S ₂ CP ap/tr	1,4	2000
S ₃ WO ap/tr	1,2	2000
S ₃ CP ap/tr	1,4	2000

Avant traitement, la concentration en mercure total est inférieure aux spécificités décrites dans le décret français. Il en ressort des résultats obtenus que les deux bourbiers étudiés ne présentent pas une pollution par le mercure.

III.F. Dosage du Carbone Organique Total

Les résultats des dosages du Carbone Organique Total sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Concentrations du Carbone Organique Total des échantillons de lixiviat.

Echantillons	Concentration (mg.Kg⁻¹)	Norme Française (mg.Kg⁻¹)
S ₀ WO (av/tr)	1462	1000
S ₀ CP (av/tr)	3302	1000
S ₁ WO (ap/tr)	841,2	1000
S ₁ CP (ap/tr)	534,9	1000
S ₂ WO (ap/tr)	522,2	1000
S ₂ CP (ap/tr)	481,3	1000
S ₃ WO (ap/tr)	594,2	1000
S ₃ CP(ap/tr)	673,9	1000

Avant traitement la teneur en Carbone Organique Total (COT) dans ces deux bourbiers est très élevée particulièrement dans le CP. Ce résultat confirme bien une pollution organique. Celle-ci est causée par les rejets des boues de forage. Cependant, après traitement une diminution remarquable de la teneur en COT est observée.

Pour le bourbier WO, le traitement a donné de meilleurs résultats dans le cas des soumissionnaires S₂ et S₃. Par contre, pour le bourbier CP le traitement a donné de meilleurs résultats dans le cas des soumissionnaires S₁ et S₂.

Ils ont conclu que le soumissionnaire (S₂) propose une meilleure recette de traitement en raison des faibles concentrations en COT et en métaux lourds et un pH adéquat.

III.G. Caractérisation physico-chimique des bourbiers

Pour une caractérisation complète des deux bourbiers (WO et CP), MECHENANE et coll ont réalisé une série d'analyse afin de déterminer les indicateurs de pollution organique.

III.G.1. Evaluation de la biodégradabilité de la matière organique présente dans les bourbiers de forage.

Ils ont réalisé des tests afin d'estimer le taux de biodégradation des polluants des bourbiers. Les mesures de la DCO et de la DBO₅ des échantillons ont donné les résultats regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Valeurs de la DCO et de la DBO₅ des bourbiers WO et CP.

Echantillons	Résultats de DCO (mg.L ⁻¹)	Valeurs limites de la DCO	Résultats de DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	Valeurs limites de la DBO ₅
S ₀ WO (av/tr)	8822	120	56,5	35
S ₀ CP (av/tr)	12274	120	113	35
S ₁ WO (ap/tr)	251	120	1,4	35
S ₁ CP (ap/tr)	263	120	1,4	35
S ₂ WO (ap/tr)	168	120	0	35
S ₂ CP (ap/tr)	185	120	0	35
S ₃ WO (ap/tr)	236	120	2,8	35
S ₃ CP (ap/tr)	487	120	2,8	35

La DBO est mesurée dans le but de déterminer le taux de dégradation des charges organiques polluantes sous l'action des microorganismes en milieu aérobie.

Avant traitement, la DCO et la DBO₅ sont supérieures aux valeurs limites réglementaires, Ce qui confirme une activité biologique et chimique dans les bourbiers due aux composés organique.

Après traitement, une diminution remarquable de la DCO et de la DBO₅ est observée. Cependant la DCO reste supérieure aux valeurs limites imposées par la réglementation algérienne, donc la forme chimique en oxygène est élevée. Concernant la DBO₅, une valeur nulle est affichée pour le cas du deuxième soumissionnaire, ce qui confirme l'absence de matière organique biodégradable par les micro-organismes.

Mémoire 3 : Etude de l'efficacité du traitement des borbiers de forage par la méthode de Stabilisation/Solidification. CHENNOUFI et coll[2] (Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2019) ont réalisé ce travail au laboratoire du Centre de Recherche et Développement de Sonatrach.

Les échantillons sont prélevés à partir des borbiers pollués par des rejets de forage. Les borbiers sélectionnés sont relatifs aux puits forés où les échantillons ont été prélevés. Ces derniers sont classés en deux catégories : à base d'eau (Classique) et à base d'huile (Wet).

CHENNOUFI et coll ont préparé des formulations pour le traitement des rejets (Wet et Classique) :

Classique : la formulation proposée pour ce traitement est un liant hydraulique (ciment) avec des quantités variables de ciment (50, 100, 150, 200, 250 g) + $\text{SiO}_2\text{Na}_2\text{O}$ (Silicate de Sodium : 15 mL).

Wet : la formulation proposée pour ce traitement est un liant hydraulique (ciment) avec une variation de la quantité de ciment (100, 150, 200, 250, 300 g) + $\text{SiO}_2\text{Na}_2\text{O}$ (15 mL) en rajoutant un autre élément qui est le tuf (150 g).

L'objectif visé est d'étudier l'efficacité du traitement par Stabilisation/Solidification des déblais de forage. A cette fin, une série de tests et d'analyses ont été effectuée sur les échantillons avant et après traitement.

III.H. Mesure du pH

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Valeurs du pH mesurés pour les échantillons considérés.

Type de déblais	Echantillons	pH	Valeurs limites
Wet	Wet (av/tr)	11,20	04-13
	Wet (100)	10,93	
	Wet (150)	10,86	
	Wet (200)	11,33	
	Wet (250)	11,66	
	Wet (300)	11,38	
Classique	Classique (av/tr)	10,71	04-13
	Classique (50)	09,47	
	Classique (100)	10,01	
	Classique (150)	10,40	
	Classique (200)	10,62	
	Classique (250)	10,77	

Wet : échantillon à base d'huile, Classique: échantillon à base d'eau, (100), (150), (200)...etc:Quantités de ciment utilisées (g).

Les résultats obtenus montrent que le pH de tous les échantillons avant et après traitement pour les échantillons Wet et Classique est inférieur à la valeur limite tolérée par la réglementation française.

Ces boues, d'après les résultats, ont un caractère alcalin. Ceci est dû aux additifs ajoutés, tel que le silicate de sodium qui a un caractère basique.

III.I. Dosage du mercure total

Le tableau suivant regroupe les résultats relatifs au dosage du mercure total pour les échantillons considérés avant et après traitement.

Tableau 12 : Valeurs du mercure total pour les échantillons considérés.

Type de déblais	Echantillons	Mercure (mg/kg)	Valeurs limites (mg/kg)
Wet	Wet (av/tr)	$0,05.10^{-2}$	02,00
	Wet (100)	$0,06.10^{-2}$	
	Wet (150)	$0,06.10^{-2}$	
	Wet (200)	$0,02.10^{-2}$	
	Wet (250)	$0,02.10^{-2}$	
	Wet (300)	$0,06.10^{-2}$	
Classique	Classique (av/tr)	$0,06.10^{-2}$	02,00
	Classique (50)	$0,06.10^{-2}$	
	Classique (100)	$0,04.10^{-2}$	
	Classique (150)	$0,13.10^{-2}$	
	Classique (200)	$0,10.10^{-2}$	
	Classique (250)	$0,05.10^{-2}$	

D'après les résultats obtenus pour le dosage de mercure, Ils ont constaté que le mercure est présent en traces dans tous les échantillons. En outre, toutes les concentrations sont inférieures à la limite tolérée par le décret français. Ainsi, ces déblais ne représentent pas une contamination importante par le mercure.

III.J. Dosage des métaux lourds

Les résultats du dosage des métaux lourds issus de l'essai de lixiviation sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Teneurs en métaux lourds dans les échantillons considérés.

Echantillons	Teneur (mg/kg)							
	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pd
Classique (av/tr)	0,03	0,05	0,20	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Classique (50)	0,45	0,07	0,17	< 0,01	0,07	0,01	< 0,01	< 0,01
Classique (100)	0,98	0,08	0,15	< 0,01	0,03	0,02	< 0,01	< 0,01
Classique (150)	1,53	0,11	0,06	0,01	0,02	0,02	< 0,01	0,02
Classique (200)	1,83	0,11	0,04	0,01	0,02	0,01	< 0,01	0,04
Classique (250)	2,02	0,10	0,03	0,02	0,01	0,02	< 0,01	0,10
Wet (av/tr)	0,01	0,05	0,14	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01
Wet (100)	0,51	0,16	0,01	0,02	< 0,01	0,02	< 0,01	0,40
Wet (150)	0,7	0,14	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,38
Wet (200)	0,81	0,12	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,39
Wet (250)	0,78	0,11	< 0,01	0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	0,30
Wet (300)	0,85	0,1	< 0,01	0,01	0,01	0,02	< 0,01	0,29
Valeurs limites (mg/kg)	70	40	100	200	25	07	05	50

Il ressort des résultats obtenus que les métaux lourds sont présents sous forme de traces dans tous les échantillons des déblais Wet et le Classique. Leurs teneurs sont inférieures aux valeurs limites acceptables fixées par le décret français sur lequel se base Sonatrach pour évaluer les traitements des bourbiers.

CHENNOUFI et coll ont comparé les valeurs de ces concentrations et ils ont relevé que celles-ci diminuent après traitement à l'exception du chrome dont la concentration augmente après traitement. La valeur du chrome qui était de 0,03 mg/kg pour le déblai Classique devient 2,02 mg/kg (Classique 250) et de 0,01 mg/kg pour le déblai Wet devient 0,85 mg/kg (Wet 300). Cette augmentation du chrome après traitement pourrait être due à sa présence dans les composés utilisés dans le traitement, notamment le ciment. Ils ont ainsi conclu que les deux types d'échantillons (Wet et Classique), ne présentent pas une source de contamination par les métaux lourds.

III.K. Dosage du Carbone Organique Total (COT)

Le Carbone Organique Total est un paramètre important de pollution, il nous renseigne sur la quantité de la matière organique que contient l'échantillon.

Les résultats des analyses effectués pour ce paramètre sont regroupés dans le tableau suivant.

Tableau 14 : Teneur en Carbone Organique Total.

	Echantillons	COT (mg/L)	Valeur limite (mg/L)
Wet	Wet (av/tr)	266,50	100
	Wet (100)	128,70	
	Wet (150)	39,71	
	Wet (200)	24,12	
	Wet (250)	21,00	
	Wet (300)	11,00	
	Classique	Classique (av/tr)	
Classique (50)		147,20	
Classique (100)		48,20	
Classique (150)		51,33	
Classique (200)		31,80	
Classique (250)		25,95	

La teneur en Dosage du Carbone Organique Total (COT) dans les deux déblais est très élevée, en particulier celle du Wet, qui est de 266,5 mg/L. Ce résultat confirme bien une présence de pollution organique. Cependant, après traitement, une baisse importante de la teneur en COT est observée. Le traitement est donc efficace pour les deux types de déblais. En effet, ils ont obtenu une diminution remarquable de la teneur en COT pour le Wet (300) (de 266,5 mg/L à 11,0 mg/L) et pour le Classique (250) (de 167,7 mg/L à 25,95 mg/L). Cette teneur est inférieure à la valeur limite tolérée par la réglementation. Noter que le traitement est plus efficace pour le déblai Wet en comparaison avec le déblai Classique. En effet, malgré la teneur élevée du COT pour le Wet, ils se sont arrivés à éliminer plus de COT dans ce dernier que dans le déblai Classique. En outre, l'optimum de ce traitement est obtenu pour le déblai Wet (250) et le déblai Classique (250), où ils ont utilisé une quantité de ciment optimale qui est de 250 g et 15 ml de silicate.

III.L. Caractérisation physico-chimique des bourbiers

III.L.1. Indicateurs de pollution organique

Ils ont réalisé des tests afin d'estimer le taux de biodégradation des polluants des bourbiers. Les mesures de la Demande Chimique en Oxygène (DCO), et de la Demande Biochimique en Oxygène après cinq jours (DBO₅), des échantillons Wet et Classique ont donné les résultats regroupés dans les tableaux suivants, pour la DCO et la DBO₅ respectivement.

Tableau 15 : Concentrations de la DCO des échantillons considérés.

Echantillons	DCO (mg.L⁻¹)	Valeur limite (mg.L⁻¹)
Wet (av/tr)	220	120
Wet (100)	1312	120
Wet (150)	561	120
Wet (200)	915	120
Wet (250)	167	120
Wet (300)	110	120
Classique (av/tr)	825	120
Classique (50)	193	120
Classique (100)	164	120
Classique (150)	151	120
Classique (200)	158	120
Classique (250)	110	120

Tableau 16 : Concentrations de la DBO₅ des échantillons considérés.

Echantillons	DBO₅ (mg.L⁻¹)	Valeur limite (mg.L⁻¹)
Wet (av/tr)	4,2	35
Wet (150)	28,2	35
Wet (250)	2,8	35
Wet (300)	7,0	35
Classique (av/tr)	5,6	35
Classique (100)	9,9	35
Classique (200)	2,8	35
Classique (250)	12,7	35

A l'issu de ces résultats, ils ont constaté qu'avant traitement, la DCO est supérieure à la valeur limite réglementaire. Ce qui confirme la nécessité d'une activité chimique dans les bourbiers qui sont due aux composés organiques cependant, la DBO₅ est inférieure à la limite réglementaire. Après traitement, une diminution remarquable de la DCO et de la DBO₅ est observée. Cependant, cette diminution ne répond pas à la norme, étant donné que les valeurs obtenues pour la DCO restent supérieures à la valeur limite réglementaire, à l'exception des échantillons Wet (300) et Classique (250). Ce dépassement de la valeur limite se traduit par une forme chimique en oxygène élevée.

En comparant entre les trois mémoires on peut dire que :

Dans les trois mémoires, ils ont travaillé sur des échantillons prélevés à partir des bourbiers pollués par des rejets de forage au niveau du champ de HASSI Messaoud, autour de différents puits.

Dans les trois mémoires, tous les échantillons étaient analysés au laboratoire avant et après traitement, mis en solution, (en utilisant l'eau déminéralisée) agités ensuite décantés. Le contenu obtenu était soumis à une filtration pour obtenir la solution de lixiviat. Cette dernière était analysée par différents dosages appliqués de la même manière.

Dans les trois mémoires, ils ont mélangé les déblais avec le ciment afin de les stabiliser. Ils ont constatés que 250g de ciment est la quantité optimum.

A l'issu des résultats trouvés, on constate que dans tous les travaux, ils ont étudié l'efficacité du traitement des déblais de forage par Stabilisation/Solidification, considérée comme la plus efficace pour la rétention des polluants à savoir les hydrocarbures et les métaux lourds contenus dans les déblais.

En comparant l'analyse chimique des différents bourbiers et les résultats relatifs au pH, à la teneur en métaux lourds, en mercure, en Carbone Organique Total, ainsi que la Demande Chimique en Oxygène et la Demande Biochimique en Oxygène et leurs normes des trois mémoires, on a :

- MOULAY et coll ont utilisé la formulation ciment+silicate, ils ont étudié le dosage des paramètres indicateurs de pollution ainsi que des métaux lourds. Ils ont constaté que dans l'ensemble, les résultats obtenus ont mis en évidence une assez bonne stabilité de la charge polluante dans la matrice cimentière puisque les quantités rélargies de certains polluants sont inférieurs aux normes de rejet fixés par la réglementation algérienne.
- MECHENANE et coll ainsi que CHENNOUFI et coll ont utilisé plusieurs formulations dans lesquelles ils ont rajouté le tuf comme agent absorbant servant à réduire la mouillabilité des déblais en diminuant la quantité d'huile en excès.
- Pour les mémoires 2 et 3, le pH de tous les échantillons avant et après traitement est alcalin, ceci est dû aux additifs ajoutés, tel que le silicate de sodium qui a un caractère basique.
- Pour les mémoires 2 et 3, en comparant les valeurs des concentrations des métaux lourds ainsi que le mercure total, on constate qu'elles sont faibles avant et après traitement et que tous les types d'échantillons ne présentent pas de source de contamination par les métaux lourds et le mercure car leurs teneurs sont inférieures aux valeurs limites acceptables fixées par le décret français sur lequel se base Sonatrach pour évaluer les traitements des bourbiers.

- L'objectif visé étant de choisir la meilleure formulation du traitement. Pour le mémoire 2, ils ont choisi le soumissionnaire (S₂) et pour le mémoire 3 le déblai Wet (250) et le déblai Classique (250) en raison des faibles concentrations en COT ainsi que la Demande Chimique en Oxygène et la Demande Biochimique en Oxygène puisqu'ils proposent une meilleure recette de traitement.

CONCLUSION

GENERALE

La contamination des sols par divers déchets pétroliers est fréquente. Elle entraîne des risques pour l'environnement et la santé humaine.

L'objectif de notre travail était d'étudier le procédé de traitement Stabilisation/Solidification, sur des échantillons prélevés à partir des bourbiers pollués par des rejets de forage, pour diminuer la toxicité des contaminants et bloquer les polluants actifs. Mais en raison de la crise sanitaire liée au développement de l'épidémie du COVID-19, nous avons décidé de maintenir le même sujet et se concentrer sur l'étude bibliographique.

Dans la première partie nous avons présenté une recherche bibliographique sur le forage et les fluides de forage, les bourbiers et leurs impacts sur l'environnement ainsi que les méthodes de traitement utilisées à l'échelle industrielle et au niveau du laboratoire.

Dans la deuxième partie on a présenté les différentes techniques d'analyses utilisées pour une caractérisation physico-chimique des échantillons issus des bourbiers de forage pour évaluer le degré de contamination de ces derniers avant et après leur traitement par le procédé Stabilisation/Solidification.

Dans la troisième partie nous avons traité trois mémoires, travaillant dans le même axe de recherche que le notre. On a présenté, et comparé leurs résultats d'analyses avant et après traitement par le procédé Stabilisation/Solidification.

D'après les résultats obtenus des trois mémoires, nous pouvons conclure que les traitements par le procédé Stabilisation/Solidification réduisent efficacement les polluants organiques et minéraux.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] N. Mechenane, Caractérisation chimique des bourbiers de forages traités par procédé Stabilisation/Solidification, Mémoire de Master II, **2018**, USTHB, Alger.
- [2] M. Chennoufi, Etude de l'efficacité du traitement des bourbiers de forage par la méthode de Stabilisation/Solidification, Mémoire de Master II, **2019**, USTHB, Alger.
- [3] H. Slimani, Etude préliminaire sur la valorisation d'un déblai de forage polluant par incorporation dans une matrice cimentaire, Mémoire de Master II, **2017**, UMBB, Boumerdes.
- [4] F. Benziada, La Réglementation et la Protection de l'Environnement au sein de l'Activité Forage, Mémoire de Magister, **2010**, Université d'Oran.
- [5] N. Benkacimi, Traitement de la pollution engendrée par les fluides de forage, Mémoire de Master II, **2013**, USD, Blida.
- [6] M. Boudouh, Traitement des rejets de forage : Analyse et Amélioration du Procédé de traitement par solidification, Mémoire de Master II, **2013**, USD, Blida.
- [7] Fluide de forage Documentation interne, **2008**, Document base Hassi Messaoud.
- [8] A. Loulachi, étude de performances dans un système mixte tensioactif-polymère dans les fluides de forage, aspect stabilité des argiles et endommagement du réservoir, Mémoire de Magister, **2009**, UMBB, Boumerdes.
- [9] Journal officiel de la République Algérienne, **11/09/2005**.
- [10] M. Cherifi, gestion des déchets de forage pour la protection de l'environnement dans le domaine HASSI MESSAOUD, **2006**, faculté de conception et de technologie, école d'ingénieurs, Université Robert Gordon, Aberdeen, Royaume-Uni.
- [11] M. Khodja, Les fluides de forage : Etude des performances et considérations environnementales, Thèse de Doctorat, **2008**, Université Louis Pasteur Strasbourg, France.
- [12] Z. REGUIG, Contribution à la recherche des méthodes efficaces pour le traitement des bourbiers pétroliers, Mémoire de Master II, **2019**, UKM, Ouargla.
- [13] Z. Boukhalfa, Etude des méthodes de traitement des boues de forage : considération environnementale, Mémoire de Master II, **2017**, UMBB, Boumerdes.
- [14] N. Bensenouci, Mémoire de Master II, **2013**, UMBB, Boumerdes.

- [15] L. Atikessé, Le profil de consommation alimentaire et les effets d'une multi exposition environnementale à faibles niveaux de contaminants chez les innus de sheshatshiu, Thèse de Doctorat, **2010**, Université du Québec à Montréal.
- [16] J. Nguyen, Technique d'exploitation pétrolière le forage, **1993**, Document base Hassi Messaoud.
- [17] I. khelfaoui, traitement des déblais de forage pétrolier et le potentialité de leur valorisation dans un matériau résineux, Mémoire de Magister, **2015**, UMBB, Boumerdes.
- [18] <https://ds.univ-oran2.dz:8443/bitstream/123456789/3058/1/page%20de%20garde.pdf>
- [19] Sonatrach Division Forage, département géologie IRARA, **2015**, Rapport d'implantation du forage : ONK 243, Document base Hassi Messaoud.
- [20] Traitement des déblais de forage, Division forage, STAH, **2011**, Document DTD Sonatrach.
- [21] F. Rejsek, Analyse de l'eau: aspect réglementaire et technique, Livre, Edition CRDP d'aquitaine, **2002**, France.
- [22] F. Rouessac, A. Rouessac, D. Cruché, Analyse chimique, Méthodes et techniques instrumentales modernes, Livre, Edition Dunod, **2004**, Paris.
- [23] Site web: http://www.mesureo.com/pages/Analyseur_COT_COTmetreV2.html
- [24] Y. Moulay, Etude d'efficacité des méthodes de traitement des déblais de forage et leur valorisation par rapport à la réglementation Algérienne, Mémoire de Master II, **2013**, UMBB, Boumerdes.

ANNEXE

Division Technologies et Développement (DTD)

SONATRACH est une Compagnie Etatique Algérienne et un acteur international majeur dans l'industrie des hydrocarbures. L'Algérie est en 2019 le 16^{ème} producteur de pétrole, le 10^{ème} producteur de gaz naturel et le 7^{ème} exportateur de gaz naturel au monde.

Les laboratoires du DTD sont structurés en trois (03) directions techniques fonctionnant en étroite collaboration : Géologie, Gisements et Assistance aux Unités Industrielles.

D'une manière générale, l'une des principales missions de la division laboratoires est de participer activement à la phase de prospection des hydrocarbures aux cotés des explorateurs pour assurer les taches et missions suivantes : datation des couches géologiques nécessitant un travail de terrain et de tests, collecte et analyse des données sédimentologiques et structurales afin de caractériser et d'évaluer l'extension des réservoirs potentiels ainsi que des analyses géochimiques pour l'évaluation du potentiel pétrolier des bassins.

Outre ces missions, la division dispose d'autres laboratoires pour l'optimisation de la production des champs en exploitation. Elle intervient en ce sens dans plusieurs domaines dont : la caractérisation des réservoirs, les études thermodynamiques, la caractérisation des produits pétroliers, les études de colmatage, les études de compatibilité des eaux, les études environnementales et les études de corrosion.

Sur un autre plan, la division est chargée par le groupe Sonatrach d'assurer le contrôle qualité des produits utilisés par les différents opérateurs du groupe.



Figure A : Centre de Recherche et de Développement de Sonatrach (Boumerdès).

Direction Géologie

La direction géologie est chargée de réaliser tous les travaux de laboratoires de géologie nécessaires à l'étude d'un puits, d'un bassin ou d'une région, d'interpréter et de synthétiser les résultats obtenus dans le but de détecter les zones contenant des Hydrocarbures.

Département Géochimie

L'activité s'articule entre deux axes principaux :

- Recherche et étude de la matière organique (source d'hydrocarbures).
- Investigation de son support inorganique (minérale).

Service géochimie minérale

Ce service à été mis en œuvre afin d'assurer le dosage des métaux (détermination des concentrations) comme le Na , Mg , Cu , dans différents échantillons telle que les eaux propres, les eaux résiduelles, les sédiments et aussi les déblais de forage d'une part , et faire les études géochimiques sur les roches en se basant sur des indicateurs géochimiques telle que : Mg, Cr, Sr, B..., et cela dans le but d'une interprétation géologique par des techniques spectroscopiques très fines comme la SAA et ICP-MS, d'autre part.

Service géochimie organique

A la présence d'un personnel qualifié ce service est chargé de la préparation des échantillons, le dosage du carbone organique, caractérisation de la matière organique, méthode de pyrolyse (Rock- Eval), les méthodes chromatographiques et Les méthodes optiques d'observation.

Résumé :

Le développement de l'industrie pétrolière en l'Algérie et les rejets qui ont résultent à cause des forages pétroliers et de l'exploitation des unités de la production, provoquent des problèmes sur l'écosystème et l'environnement.

Ce travail consiste à présenter, analyser et comparer des résultats antérieurs, qui ont étudié l'efficacité du traitement par le procédé Stabilisation/Solidification des sols contaminés par des polluants organiques et minéraux issus des rejets des boues de forage.

D'après les résultats obtenus des trois mémoires, nous pouvons conclure que les traitements par le procédé Stabilisation/ Solidification réduisent efficacement les polluants organiques et minéraux.

ملخص:

إن تطوير الصناعة البترولية في الجزائر وما ينتج عنه من تصريفات بسبب التنقيب عن النفط وتشغيل وحدات الإنتاج ، يسبب مشاكل للنظام البيئي والبيئة.

يتمثل هذا العمل في تقديم وتحليل ومقارنة النتائج السابقة، والتي درست فعالية المعالجة من خلال عملية التثبيت / التصلب للتربة الملوثة بالملوثات العضوية والمعدنية من تصريف طين الحفر.

من النتائج التي تم الحصول عليها من الملخصات الثلاثة، يمكننا أن نستنتج أن المعالجات باستخدام عملية التثبيت / التصلب تقلل بشكل فعال الملوثات العضوية والمعدنية.

Abstract:

The development of the oil industry in Algeria and the resulting discharges from oil fodder and the exploitation of production units, caused problems on the ecosystem and the environment.

This work consists of presenting, analyzing and comparing previous results, which have studied the effectiveness of the treatment by the Stabilization/Solidification process of soils contaminated by organic and mineral pollutants from discharges of drilling mud.

For the results obtained from the three briefs, we can conclude that treatments using the Stabilization/ Solidification process effectively reduce organic and mineral pollutants.